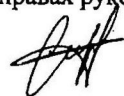


0.773238

На правах рукописи



СИРАЗИЕВ Ленар Фиргатович

**ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СБОРНО-
МОНОЛИТНЫХ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ
ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗАГРУЖЕНИЯ
СБОРНОГО ЭЛЕМЕНТА**

Специальность 05.23.01–Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза 2008 г.

Работа выполнена в Казанском государственном архитектурно-строительном университете.

Научный руководитель – Советник РААСН, доктор технических наук,
профессор

Мирсаяпов Илизар Талгатович,

Официальные оппоненты – Чл.-корр. РААСН, доктор технических наук,
профессор

Римшин Владимир Иванович

– доктор технических наук, профессор

Болдырев Геннадий Григорьевич

Ведущая организация – Открытое акционерное общество
«Татагропромстрой»

Защита состоится 19 декабря 2008г. в 13 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.184.01 в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства по адресу: 440028, Пенза, ул. Г. Титова, д.28, корп. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

Автореферат размещен на официальном сайте университета
WEB:www.gasa.penza.com.ru.

Автореферат разослан « 19 » ноября 2008 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000439010

Ученый секретарь диссертационного совета

ДМ 212.184.01

В.А. Худяков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы: Удельный вес монолитного железобетона в общем объеме железобетонных конструкций особенно высок в гражданских зданиях, сооружениях черной и цветной металлургии, горнорудной, химической и некоторых других отраслей промышленности. При устройстве монолитных железобетонных конструкций 35-45% трудозатрат падает на устройство и разборку опалубки. В сочетании со значительным расходом древесины это приводит к значительному удорожанию таких конструкций и увеличению сроков их возведения. Поэтому индустриализация работ при возведении подобных сооружений представляет актуальную задачу.

Одним из путей реализации отмеченной задачи является переход к сборно-монолитным железобетонным конструкциям, объемы и область применения которых как у нас, так и за рубежом, в настоящее время постоянно расширяются. Однако реализация технических и экономических преимуществ сборно-монолитных железобетонных конструкций перед монолитными, а в некоторых случаях и перед полностью сборными конструкциями, сдерживается недостаточной изученностью влияния предыстории работы сборно-монолитных конструкций за период набора прочности монолитным бетоном. Поэтому весьма актуальным и своевременным является разработка новых методов расчета трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных конструкций с учетом предыстории нагружения.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является разработка методов расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента и с учетом физической нелинейности арматуры и бетона.

В связи с этим в работе поставлены следующие задачи:

- изучить особенности напряженно-деформированного состояния, развития прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента и с учетом физической нелинейности арматуры и бетона;
- провести экспериментальные исследования трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом

предварительного нагружения сборного элемента;

- разработать новые методы расчета прогибов и ширины раскрытия трещин сборно-монолитных железобетонных конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента;
- выполнить проверку точности предлагаемых методов расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов путем сравнения теоретических результатов с данными проведенных экспериментов.

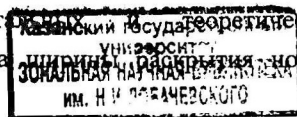
Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов;
- методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов;
- аналитическую зависимость для определения прогибов сборно-монолитных конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента;
- результаты проверки точности и надежности предлагаемых методов расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов.

Научную новизну работы представляют:

- деформационные методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов на основе аналитических диаграмм деформирования бетона и стали с учетом предварительного нагружения сборного элемента;
- упрощенные методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента;
- новые экспериментальные данные о характере разрушения и развития прогибов, ширины раскрытия нормальных трещин, деформаций бетона и арматуры сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов при изменении уровня предварительного нагружения сборного элемента.

Практическое значение работы заключается в том, что в результате выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработаны методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и



прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых с учетом предварительного нагружения сборного элемента, позволяющие повысить надежность проектируемых несущих конструкций, а в ряде случаев расчетную несущую способность и за счет этого получить более экономичные конструктивные решения. Результаты диссертационной работы использованы в проектировании объектов жилищного и гражданского строительства в Республике Татарстан, выполняемых Головной проектно-изыскательской и научно-производственной фирмой «Татинвестгражданпроект», при расчете сборно-монолитных междуэтажных перекрытий. Кроме того, методы расчета прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин в сборно-монолитных конструкциях используются учебном процессе в Казанском государственном архитектурно-строительном университете при изучении дисциплины «Композитные конструкции».

Апробация работы. Основные положения работы доложены на научно-технических конференциях кафедры железобетонных и каменных конструкций КГАСА в 1998-2001 гг.; на Всероссийской научно-технической конференции ПГАСА «Актуальные проблемы современного строительства», г. Пенза, 1999г.; на Международной молодежной конференция «Молодежь – науке будущего» г.Набережные Челны, 2000г.; на Международной научно-практической конференции «Строительство–2000», г. Ростов-на-Дону, 2000 г.; на Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов «Молодые исследователи – региону», г. Вологда, 2004г.; на симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений», г. Нижний Новгород, 2007 г.; на кафедре оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КазГАСУ в 2002 – 2007 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 1 статья – в журнале, входящем в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка использованной литературы.

Общий объем работы составляет 184 страниц, в том числе – 100 страниц машинописного текста, 78 рисунков, 19 таблиц и список использованной литературы из 90 наименований.

Диссертационная работа выполнялась на кафедрах «Железобетонные и

каменные конструкции» и «Оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии» Казанского государственного архитектурно-строительного университета в 1998-2007 г.г. под руководством Советника РААСН, доктора технических наук, профессора И.Т.Мирсаяпова и кандидата технических наук, доцента Г.С.Валеева.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Дополнительный монолитный бетон, включаемый в совместную работу со сборным, имеет другой возраст, другие физико-механические характеристики, включается в работу конструкции постепенно по мере увеличения прочности. Сборно-монолитная конструкция после бетонирования монолитной части превращается в составную конструкцию, напряженно-деформированное состояние которой меняется во времени вследствие изменения реологических свойств монолитного и сборного бетонов в связанных условиях. Неодновременное вступление в работу бетонов приводит к изменению области совместного деформирования, что отражается на дальнейшей работе конструкции под нагрузкой.

Исследованию трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных конструкций посвящены работы Ф.С.Белавина, А.Б.Голышева, И.И.Улицкого, А.В.Харченко, В.Ф.Усманова, А.Е.Кузьмичева, Н.С.Метелюка, О.В.Михайлова, С.М.Питулько, В.П.Полищука, Э.Г.Ратца, А.В.Юркша, Т.М.Пецольда, Д.Н.Лазовского, Г.В.Марчюкайтиса и др. Большая работа также была проведена сотрудниками Казанской ГАСА Я.Г.Сунгатуллиным, И.Т.Мирсаяповым, В.Ш.Фатхуллиным, Г.С.Валеевым, Ю.Н.Волковым.

Выполненный обзор и анализ результатов имеющихся экспериментальных и теоретических исследований расчетов ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов позволяет дать следующую общую оценку современного состояния проблемы. В экспериментальном плане проблема трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента не достаточно изучена. Существующие

методы расчета сборно-монолитных железобетонных конструкций базируются на классической теории железобетона, связанной с методом расчетных сечений, в котором напряженно-деформированное состояние составной конструкции рассматривается в предельном состоянии, учет нагрузок в период монтажа или усиления конструкций под нагрузкой производится с помощью эмпирических коэффициентов условий работы, не учитывается предыстория работы конструкции. Расчет сборно-монолитных конструкций осуществляется только после набора монолитным бетоном заданной прочности.

Изучение состояния вопроса позволило обосновать направления дальнейшего развития исследования.

В качестве опытных образцов изготавливались сборно-монолитные железобетонные балки прямоугольного сечения со следующими размерами: длина 2100 мм, ширина 100 мм, высота сборного и монолитного бетонов по 100 мм. В качестве продольной растянутой арматуры использовалась арматурная сталь $\varnothing 12$ мм класса А-III, в качестве поперечной арматуры – сталь $\varnothing 8$ мм класса А-I, установленные с шагом 100 мм в приопорной зоне. Переармирование по наклонному сечению производили для предотвращения появления наклонных трещин.

Образцы подразделялись на серии, различающиеся друг от друга уровнем предварительного нагружения сборного элемента.

1 серия – сборные элементы – испытывались для определения разрушающей нагрузки.

2 серия – испытывались сборно-монолитные балки без предварительного нагружения сборного элемента.

3-5 серии – балки с предварительным нагружением сборного элемента с уровнем нагружения 0.3, 0.6 и 0.75 от разрушающей нагрузки сборной балки.

Всего было изготовлено 5 серий по 3 образцов в каждой серии.

Испытываемые элементы изготавливались на стенде лаборатории

кафедры ЖБ и КК КГАСА в жесткой разборной стальной форме. После распалубки балки 3, 4, 5 серий устанавливались на стенд по схеме свободно-опертой балки, создавалось предварительное загрузку с помощью штучных грузов. Нагрузка прикладывалась в виде двух сосредоточенных сил в третях пролета. И в пригруженном состоянии производилось намоноличивание сборных элементов в деревянных опалубках.

На третьи сутки после омоноличивания, балки распалубливались и для изучения напряженно-деформированного состояния сборно-монолитной конструкции в процессе набора прочности устанавливались дополнительные механические приборы, а на поверхность монолитной части в середине пролета наклеивались тензорезисторы. Наблюдение за изменением НДС конструкции проводилось до стабилизации прогибов. И на всем периоде набора прочности монолитным бетоном замерялись прогибы балок в середине пролета, деформации растяжения и сжатия в арматуре, деформации сжатия-растяжения в бетоне, осадка опор ригеля, деформации сдвига в контактном шве, вертикальные деформации между сборным и монолитным бетонами балки на расстоянии 330 мм от опоры.

После стабилизации прогибов производилось разгружение составных балок и их установка на пресс ИПС-200 для проведения дальнейших испытаний до разрушения. Величина нагрузки задавалась и контролировалась по манометрам испытательной машины. В процессе испытаний измеряли продольные деформации бетона и арматуры опытных конструкций, горизонтальные и вертикальные деформации контактного шва, прогибы, длину и ширину раскрытия нормальных трещин. Деформации бетона и арматуры фиксировали тензодатчиками базой 50 и 20 мм соответственно. Измерение прогибов, деформаций контакта осуществлялось индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Все опытные образцы сборно-монолитных изгибаемых элементов разрушились по нормальному сечению вследствие достижения

напряжениями в сжатой зоне предела прочности на сжатие.

В период набора монолитным бетоном заданной прочности при выдержке конструкции под нагрузкой в сборном элементе в нижней его зоне на начальном этапе наблюдений (1-20 суток) происходит увеличение растягивающих деформаций, а на втором этапе появляются дополнительные сжимающие деформации, что очевидно связано с перераспределением усилий в составной конструкции. В монолитном бетоне происходит постоянное увеличение деформаций сжатия.

При увеличении уровня предварительного нагружения (0.3, 0.6 и 0.75) сборного элемента ширина раскрытия трещин в сборно-монолитных изгибаемых конструкциях увеличивается на 17, 38 и 40%, а прогибы увеличиваются на 11, 15, 17%.

В диссертации экспериментальный материал представлен в виде графиков и таблиц развития прогибов, деформаций бетона и арматуры, деформаций контактного шва, схем развития трещин и разрушения.

При расчете прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов за основу принята теория В.И. Мурашева.

В общем случае прогибы и ширина раскрытия нормальных трещин определяются исходя из вышеописанного напряженно-деформированного состояния сборно-монолитных железобетонных элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента и представляются в виде (рис. 1.).

$$f = \frac{1}{r(t)} S \cdot l_o^2; \quad (1)$$

$$a_{crc}(t) = \varepsilon_{sm} l_{crc} - \varepsilon_{btm} l_{crc}, \quad (2)$$

где $f(t)$ - прогибы железобетонного изгибаемого элемента в рассматриваемый момент времени;

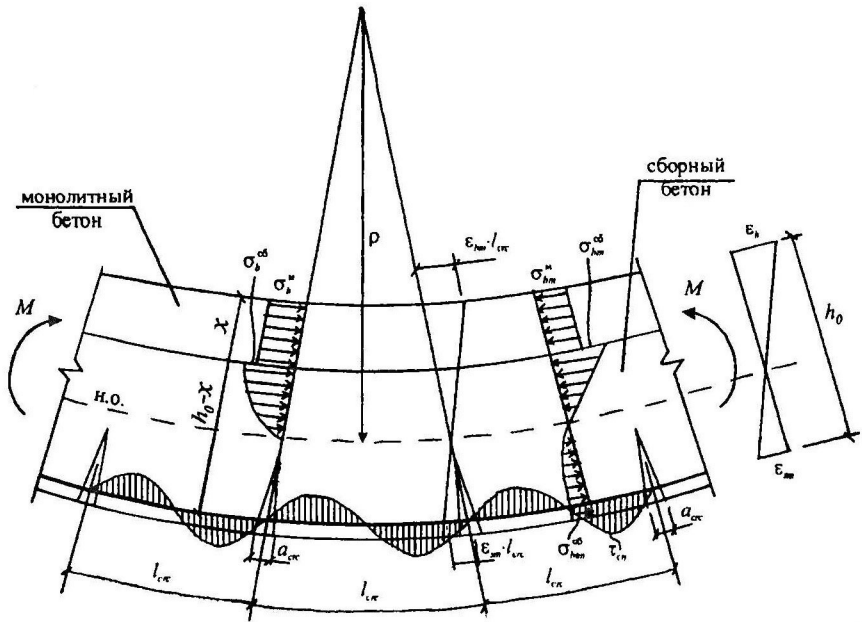


Рис.1. Напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного железобетонного изгибаемого элемента после образования трещин (к расчету прогибов и ширины раскрытия трещин).

$1/r(t)$ - кривизна нейтральной оси на участках с трещинами;

S - коэффициент, учитывающий расчетную схему конструктивного элемента;

l_0 - расчетный пролет конструктивного элемента;

$a_{cr}(t)$ - ширина раскрытия нормальных трещин в рассматриваемый момент времени;

ε_{sm} - средние относительные деформации продольной растянутой арматуры на участке с трещинами;

ε_{btm} - средние относительные деформации бетона растянутой зоны на участке между нормальными трещинами по оси продольной растянутой арматуры;

l_{crc} - расстояние между нормальными трещинами.

Кривизна нейтральной оси сборно-монолитного изгибаемого железобетонного элемента на участке с трещинами определяется по средним деформациям продольной растянутой арматуры и бетона сжатой зоны.

Неравномерность распределения деформаций верхних фибр бетона сжатой зоны на участке между трещинами учитывается коэффициентом ψ_b .

Влияние работы растянутого бетона между трещинами на величину средних деформаций продольной растянутой арматуры учитывается коэффициентом ψ_s .

Таким образом, для расчета прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента необходимо определять напряжения и деформации в продольной растянутой арматуре $[\sigma_s(t) \text{ и } \varepsilon_s(t)]$, бетоне сжатой зоны $[\sigma_b(t) \text{ и } \varepsilon_b(t)]$, а также коэффициенты ψ_s , ψ_b и расстояние между трещинами l_{crc} .

Для расчета прогибов и ширины раскрытия трещин предлагаются два метода.

Первый метод основан на деформационной модели расчета железобетонных конструкций с использованием аналитических диаграмм деформирования материалов.

Общая деформационная расчетная модель для расчета прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин сборно-монолитных железобетонных стержневых изгибаемых элементов разрабатывалась на основе аналитических диаграмм деформирования бетона и арматуры. Такой подход позволяет с единых позиций рассчитывать конструктивные элементы

на прочность, трещиностойкость и деформативность с учетом нелинейных свойств материалов при кратковременном статическом и длительном статическом нагружениях.

Исходя из гипотезы плоских сечений, трансформированных диаграмм зависимостей « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » и « $\sigma_s - \varepsilon_s$ » и из уравнений равновесия для любого рассматриваемого момента времени и режима нагружения определяются напряжения в бетоне σ_{bi} и арматуре σ_{si} , соответствующие деформации ε_{bi} и ε_{si} . По деформациям в бетоне ε_{bi} и арматуре ε_{si} вычисляются прогибы конструктивного элемента и ширина раскрытия нормальных трещин.

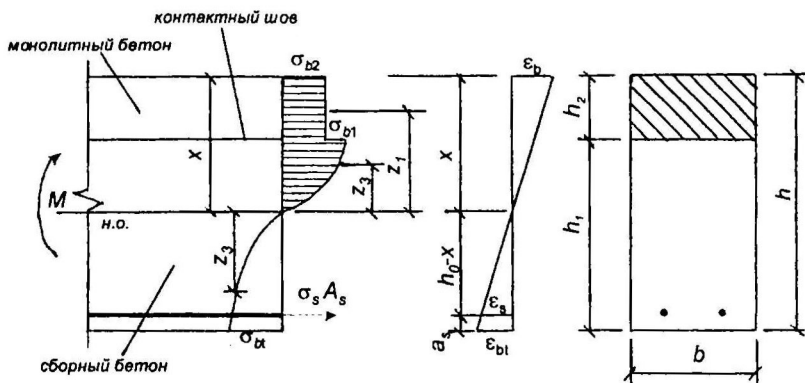


Рис 2. Схема усилий, эпюра напряжений и деформаций при расчете на основе аналитических диаграмм деформирования бетона и арматуры.

В данном случае уравнения равновесия имеют вид:

$$N_x = 0; \quad (3)$$

$$M_z = M_i + \Delta M_{si} + \Delta M_{bi}. \quad (4)$$

$$N_x = \int_0^{h_M} \sigma_b [\varepsilon_b^M(x)] p(x) dx + \int_0^{x_i - h_M} \sigma_b [\varepsilon_b^{c0}(x)] p(x) dx - \int_0^{h_0 - x_i} \sigma_{bi} [\varepsilon_{bi}(x)] p(x) dx - \sigma_s (\varepsilon_s) A_s = 0, \quad (5)$$

$$M_z = \int_0^{h_M} \sigma_b [\varepsilon_b^M(x)] b(x) (x - h_M) dx + \int_0^{x_i - h_M} \sigma_b [\varepsilon_b^{cb}(x)] b(x) x dx + \\ + \int_0^{h_o - x_i} \sigma_{bt} [\varepsilon_{bt}(x)] b(x) x dx + \sigma_s (\varepsilon_s) A_s (h_o - x), \quad (6)$$

где $\sigma_b(\varepsilon_b)$, $\sigma_s(\varepsilon_s)$ - зависимости «напряжения - деформация» бетона и арматуры;

$\varepsilon_b^M(x)$, $\varepsilon_b^{cb}(x)$ - закон изменения деформаций монолитного и сборного бетонов по высоте сечения;

$b(x)$ - функция изменения ширины поперечного сечения по высоте;

M_i - изгибающий момент от действия внешней нагрузки;

$$\Delta M_s = (\sigma_s^y + \sigma_s^{\partial on}) A_s (h_o - x); \quad (7)$$

- дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения и развития дополнительных остаточных деформаций в арматуре от ползучести и усадки монолитного бетона в связанных условиях;

$$\Delta M_b = \left(\sigma_{b1}^{yc} + \sigma_{b1}^{\partial on} \right) \frac{(x - h_2)}{2} \frac{2}{3} (x - h_2) b - \left[\frac{(\sigma_{b2}^{yn} + \sigma_{b2}^{y\partial})}{2} h_2 + \frac{(\sigma_{b2}^{\partial onn} + \sigma_{b2}^{\partial on\partial})}{2} h_2 \right] \times \quad (8)$$

$\times b(x - h_2)$;

- дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения остаточных дополнительных напряжений в монолитном и сборном бетоне от усадки и ползучести монолитного бетона в связанных условиях;

$E_{b.cb}$, $E_{b.M}$ - модули упругости сборного и монолитного бетонов соответственно;

A_{red} , S_{red} , I_{red} - соответственно площадь, статический момент, момент инерции приведенного сечения.

Вычисление внутренних усилий по формулам (5) и (6) выполняются методом последовательности приближений, пока не выполнится условие:

$$|\Delta N_x| \leq \delta, \quad (9)$$

где δ - заданная точность вычислений.

Уравнения (3) – (6) справедливы для всех стадий напряженно-деформированного состояния сборно-монолитного железобетонного элемента, включая и стадию разрушения.

После определения из (3) – (6) ε_{bi} и ε_{si} переходим к вычислению прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин, при этом должны соблюдаться условия $\varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{bu}$, $\varepsilon_{si} \leq \varepsilon_{su}$.

Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси конструктивного элемента, производится из условия:

$$a_{crc} \leq [a_{crc}], \quad (10)$$

где $[a_{crc}]$ - предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Следуя В.И. Мурашеву ширина раскрытия трещин определяется из условия, что на участке между трещинами, где происходит взаимное смещение арматуры и бетона, сумма удлинений бетона и ширины раскрытия трещин равна удлинению арматуры на этом участке.

Ширина раскрытия трещин определяется по формуле:

$$a_{crc} = l_{crc} \varepsilon_{sm} = l_{crc} \psi_s \varepsilon_s. \quad (11)$$

Расчет по прогибам производится из условия, прогибы элемента от внешней нагрузки не должны превышать предельно допустимые значения:

$$f \leq [f]. \quad (12)$$

Прогибы сборно-монолитной конструкции определяются по формуле (1) с использованием значений кривизны на участке с трещинами по средним деформациям бетона и арматуры.

Для изгибаемых элементов с трещинами в растянутой зоне кривизна определяется по формуле:

$$\frac{1}{r}(t) = \frac{\varepsilon_{sm}(t) + \varepsilon_{bm}(t)}{h_o}, \quad (13)$$

где $\varepsilon_{bm}(t)$, $\varepsilon_{sm}(t)$ - средние деформации в бетоне наиболее сжатой грани элемента и в продольной растянутой арматуре.

Величины $\varepsilon_{bm}(t)$ и $\varepsilon_{sm}(t)$ определяем по формулам:

$$\varepsilon_{bm}(t) = \varepsilon_b(t) \psi_b, \quad (14)$$

$$\varepsilon_{sm}(t) = \varepsilon_s(t) \psi_s(t), \quad (15)$$

где ψ_b - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций крайнего сжатого волокна бетона по длине участка с трещинами и принимаемый для тяжелого бетона усредненно, равным 0,9;

$\psi_s(t)$ - коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона на участке с трещинами.

Значения деформаций ε_b , ε_s , следовательно, и кривизна $1/r$ определяются последовательным приближением исходя из уравнений (3) – (6).

При вычислении кривизны изгибаемого элемента от действия усадки и ползучести до приобретения монолитным бетоном заданной прочности рекомендуется пользоваться следующей формулой:

$$\frac{1}{r}(t) = \frac{\varepsilon_{sm}(t) + \varepsilon_{bm}(t)}{\kappa(t) h_{01}}, \quad (16)$$

$$\text{где } \kappa(t) = (a_1 \ln(t) + a_2) \left(a_3 \left(\frac{M_1}{M_{1u}} \right)^2 - a_4 \frac{M_1}{M_{1u}} + a_5 \right) - \quad (17)$$

коэффициент, учитывающий постепенное включение монолитного бетона в работу сборно-монолитной изгибаемой конструкции по мере набора монолитным бетоном заданной прочности;

M_1/M_{1u} - уровень предварительного нагружения сборного элемента по отношению к разрушающему моменту;

$$a_1 = 0,0195; a_2 = 0,9533; a_3 = 3,8367; a_4 = 3,5897; a_5 = 1,7726 -$$

эмпирические коэффициенты при $0,3 < M_1/M_{1u} < 0,7$ и для монолитного бетона классов В10 – В25.

Для инженерной оценки прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов, кроме деформационного метода разработаны также упрощенные методы расчета, учитывающие как изменение напряженного состояния, так и изменение прочностных свойств материалов. В целях упрощения расчета сборный и

монолитный бетоны приводятся к одному эквивалентному по прочности и деформативности, и таким образом, расчет сборно-монолитной конструкции сводится к расчету обычных (несоставных) железобетонных элементов.

При этом эпюра напряжений принимается трапециевидной, изменение напряжений учитывается функциями накопления напряжений $H_{\sigma\sigma}$ и $H_{\sigma\sigma b}$. Трудоемкость вычислительной работы существенно меньше по сравнению с диаграммным методом, в то же время, расчет является более наглядным и позволяет анализировать изменение всех основных параметров.

Сопротивление «приведенного» бетона осевому сжатию определяется по формуле:

$$R_b^{экс} = R_{b1} \left(1 - \frac{S_m}{S} \right) + R_{b2} \frac{S_m}{S}, \quad (18)$$

где S_m - статический момент монолитного бетона сжатой зоны составного сечения относительно нейтральной оси при $x = x_R$;

S - статический момент всей сжатой зоны относительно той же оси.

Текущие значения напряжений к моменту времени t :

$$\sigma_b(t) = \sigma_b(t_0) - \sigma_b^{\partial on}(t) - \Delta\sigma_b(t), \quad (19)$$

$$\sigma_s(t) = \sigma_s(t_0) + \sigma_s^{\partial on}(t) + \Delta\sigma_s(t), \quad (20)$$

где $\sigma_b(t_0)$, $\sigma_s(t_0)$ - начальные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре;

$\sigma_b^{\partial on}(t)$, $\sigma_s^{\partial on}(t)$ - дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, возникающие вследствие проявления ползучести «приведенного» бетона сжатой зоны в связанных условиях;

$\Delta\sigma_b(t)$, $\Delta\sigma_s(t)$ - дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, возникающие из-за разности деформаций ползучести сборного и монолитного бетонов.

Для принятой расчетной схемы приведенного среднего сечения (рис.3) начальные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре определяем по формулам:

$$\sigma_b(t_0) = \frac{2M_{\max} - \sigma_s' A_s' z_s}{\xi b h_o^2 \left[(1 + \lambda) - 0,33\xi(1 + \lambda + \lambda^2) \right]}, \quad (21)$$

$$\sigma_s(t_o) = \alpha \sigma_b(t_o) \frac{1 - \xi}{(1 - \lambda) \xi}, \quad (22)$$

где $\xi = \frac{-\mu\alpha + \sqrt{(\mu\alpha)^2 + 2\mu\alpha(1 - \lambda^2)}}{1 - \lambda^2}$ - относительная высота сжатой зоны;

зоны;

$\lambda = 1 - \nu$ - коэффициент пластичности бетона сжатой зоны.

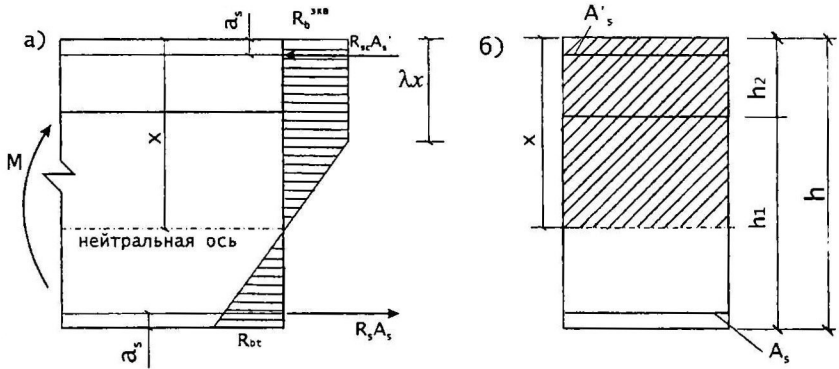


Рис. 3. Расчетная схема усилий и эпюры напряжений при расчете прогибов и ширины раскрытия трещин сборно-монолитных изгибаемых конструкций упрощенным методом:

а) схема усилий и эпюры напряжений; б) приведенное сечение.

При вычислении начальных напряжений вводится ограничение $\xi \leq 0,55$, которое подтверждается результатами экспериментальных исследований.

Дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, возникающие вследствие проявления ползучести «приведенного» бетона, определяются по формулам:

$$\sigma_b^{\partial on}(t) = A_s \sigma_b(t_o) C^*(t; \tau) S_k^o \left(\frac{\sigma_b}{R_b} \right) \frac{1 - \xi}{\xi} E_s \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{S_b - a}{A_b} \right) x}{I_{red}} \right], \quad (23)$$

$$\sigma_s^{don}(t) = \frac{h_o - x}{x} E_s \varepsilon_{pl}(t), \quad (24)$$

где $\varepsilon_{pl}(t)$ - пластические деформации ползучести крайнего волокна сжатой зоны бетона:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pl}(t) &= C(t; \tau) f(t; \tau) \sigma_b(t_o), \\ f(t; \tau) &= 1 - e^{-\gamma(t-\tau)} \text{ при } \gamma = 0,04. \end{aligned} \quad (25)$$

В сборно-монолитных конструкциях сборный и монолитный бетон имеют различные меры ползучести. Вследствие этого в процессе длительного действия постоянной нагрузки деформирование составляющих бетонов происходит в связанных условиях, что приводит к возникновению еще одного дополнительного напряженного состояния из-за разности деформаций ползучести сборного и монолитного бетонов. Для определения дополнительных напряжений из-за разности деформаций ползучести составляющих бетонов поступаем следующим образом:

- напряжения в эквивалентном бетоне перераспределяются между сборным и монолитным бетонами пропорционально вкладу каждого бетона в общее сопротивление сечения, исходя из уравнения (18), заменяя при этом $R_b^{мон}$ на $\sigma_{мон}(t_o)$ и $R_b^{сб}$ на $\sigma_{сб}(t_o)$;

- вычисляются деформации ползучести составляющих бетонов в свободных условиях;

- определяется разность деформаций ползучести сборного и монолитного бетонов $\Delta \varepsilon_{pl} = \varepsilon_{pl}^{мон} - \varepsilon_{pl}^{сб}$;

- вычисляются дополнительные напряжения в растянутой арматуре:

$$\Delta \sigma_s(t) = \frac{h_{осб} - x_{сб}}{x_{сб}} \Delta \varepsilon_{pl} E_s; \quad (26)$$

- определяются дополнительные растягивающие напряжения в монолитном бетоне:

$$\Delta\sigma_b(t) = \Delta\sigma_s(t) A_s \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{S_b}{A_b} - a \right) x}{I_{red}} \right]. \quad (27)$$

Подставляя в уравнения (19) – (20) выражения для $\sigma_b^{don}(t)$, $\sigma_s^{don}(t)$, $\Delta\sigma_b(t)$, $\sigma_s(t)$ вычисленные по формулам (23), (24), (26), (27), после некоторых преобразований и упрощений получим текущие значения напряжений:

$$\sigma_b(t) = \sigma_b(t_0) H_{\sigma_b}; \quad (28)$$

$$\sigma_s(t) = \sigma_s(t_0) H_{\sigma_s}, \quad (29)$$

где H_{σ_b} , H_{σ_s} - функции накопления напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре соответственно.

$$H_{\sigma_b} = 1 + \mu \cdot b \cdot h_0 \frac{1 - \xi}{\xi} H_{\varepsilon, np} \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{S_{red}}{A_{red}} - a_s \right) \left(h - \frac{S_{red}}{A_{red}} \right)}{I_{red}} \right], \quad (30)$$

$$H_{\sigma_s} = 1 + \frac{2(1 - \xi)}{\xi^2} \frac{\mu}{1 + \lambda} H_{\varepsilon, np} + \mu \frac{2(h_{ocb} - x_{cb})}{x_{cb}^2 (1 + \lambda)} \left(H_{\varepsilon, мон} \frac{\psi}{n_1} - H_{\varepsilon, cb} \psi \right), \quad (31)$$

где $H_{\varepsilon, np}$, $H_{\varepsilon, мон}$, $H_{\varepsilon, cb}$ - функции накопления деформаций приведенного, монолитного и сборного бетонов соответственно;

$$\psi = \frac{1}{1 + \frac{s_m}{s} \left(\frac{1}{n_1} - 1 \right)}. \quad (32)$$

Функции накопления деформаций «приведенного», сборного и монолитного бетонов вычисляются по единой формуле, и численные значения будут отличаться в зависимости от меры ползучести $C_\infty(t; \tau)$ и модуля упругости E_{bi} .

$$H_{\varepsilon bi} = C_{\infty}(t; \tau) \left(1 - e^{-\gamma^2 \varphi_m} \right) E_s. \quad (33)$$

Деформации в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре выражаем через напряжения:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{be} + \varepsilon_{bpl} = \frac{\sigma_b(t; t_0)}{E_b \nu} + \sigma_b(t; t_0) C(t; \tau) = \sigma_b(t_0) H_{\sigma_b} \left(\frac{1}{E_b \nu} + C(t; \tau) \right) \quad (34)$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s(t; t_0)}{E_s} = \frac{\sigma_s(t_0) H_{\sigma_s}}{E_s}, \quad (35)$$

где $\sigma_b(t; t_0)$, $\sigma_s(t; t_0)$ - текущие напряжения в бетоне сжатой зоны и в продольной арматуре.

Тогда уравнение кривизны нейтральной оси сборно-монолитного железобетонного изгибаемого элемента при действии длительной статической нагрузки представится в виде:

$$\frac{1}{r} = \frac{\left\{ \frac{\sigma_s(t_0)}{E_s} H_{\sigma_s} \psi_s + \sigma_b(t_0) H_{\sigma_b} \left[\frac{1}{E_b} + C(t; \tau) \right] \psi_b \right\}}{h_0}. \quad (36)$$

Тогда выражение для определения прогибов сборно-монолитных конструкций имеет вид:

$$f = \frac{\left\{ \frac{\sigma_s(t_0)}{E_s} H_{\sigma_s} \psi_s + \sigma_b(t_0) H_{\sigma_b} \left[\frac{1}{E_b} + C(t; \tau) \right] \psi_b \right\}}{h_0} S \cdot l_0^2. \quad (37)$$

Ширина раскрытия трещин определяется по формуле:

$$a_{crc} = \varepsilon_{sm} l_{crc} = \psi_s \frac{\sigma_s(t_0) H_{\sigma_s}}{E_s} l_{crc}. \quad (38)$$

Сравнение результатов расчета по предлагаемым методам с результатами экспериментальных исследований показали удовлетворительную сходимость.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие нормы проектирования железобетонных конструкций (СНиП 2.03.01-84*) не учитывают все факторы, влияющие на трещиностойкость и деформативность сборно-монолитных изгибаемых элементов до приобретения монолитным бетоном заданной прочности. В настоящее время отсутствуют практические методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных изгибаемых элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента при статическом нагружении с учетом физической нелинейности бетона и арматуры. В связи с этим назрела необходимость в разработке практических методов расчета трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных изгибаемых элементов с учетом предварительного нагружения сборного элемента при статическом нагружении с учетом физической нелинейности бетона и арматуры.

2. Разработаны деформационные методы расчета прогибов и ширины раскрытия трещин сборно-монолитных изгибаемых элементов на основе аналитических трансформированных диаграмм деформирования бетона и арматуры, реальных режимов деформирования материалов в составе конструкции. Такой подход позволяет с единых позиций рассчитывать ширину раскрытия нормальных трещин и прогибы конструкций при статическом нагружении с учетом предварительного нагружения сборного элемента. В диссертации приведены уравнения изменения деформаций по высоте сечения с учетом неупругих свойств бетона, арматуры, уровня предварительного нагружения сборного элемента.

3. В диссертации предложена методика трансформирования исходных диаграмм деформирования бетона для учета влияния предварительного нагружения сборного элемента. Полученные аналитические зависимости для описания трансформированных диаграмм деформирования арматуры и бетона в компактной форме учитывают наблюдаемые в экспериментах влияния уровня предварительного нагружения сборного элемента и относительные деформации материалов. Использование предложенного

способа трансформирования диаграмм деформирования бетона позволяет более точно оценивать трещиностойкость и деформативность нормальных сечений сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов.

4. Разработаны упрощенные методы расчета ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов сборно-монолитных изгибаемых элементов, учитывающие физическую нелинейность бетона и арматуры, предварительное загрузение сборного элемента. Трудоемкость вычислительной работы существенно меньше по сравнению с деформационным методом, в то же время расчет является замкнутым и более наглядным, что позволяет анализировать изменение всех основных параметров.

5. Выполнены экспериментальные исследования трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных изгибаемых элементов с целью обоснования гипотез, положенных в основу расчетных моделей по оценке ширины раскрытия нормальных трещин и прогибов с учетом предварительного загрузения сборного элемента, а также для проверки точности и надежности инженерных методов расчета. Результаты исследований показали, что все опытные образцы разрушились по нормальному сечению вследствие достижения напряжениями в сжатой зоне сборно-монолитных несущих элементов предела прочности на сжатие. Трещины в растянутой зоне образовались, в основном, в зоне чистого изгиба и затем, по мере увеличения уровня нагружения, распространялись по ширине и по высоте сечения элементов и приводили к окончательному физическому разрушению опытных сборно-монолитных железобетонных балок. Закономерности развития прогибов, полных и остаточных деформаций бетона и арматуры изгибаемых элементов зависят от уровня предварительного загрузения сборного элемента. Деформации с различной интенсивностью развиваются на всем протяжении испытаний. Эти результаты позволили получить аналитические зависимости изменения кривизны нейтральной оси сборно-монолитных изгибаемых элементов при длительном действии предварительного загрузения, значительно

упрощающие инженерные расчеты. Испытания позволили установить, что увеличение уровня предварительного нагружения сборного элемента приводит к увеличению деформаций бетона и арматуры, увеличению прогибов и ширины раскрытия нормальных трещин, к изменению закона распределения деформаций по высоте сечения.

6. Результаты расчетов по предложенным методам удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Их достоверность и надежность подтверждается данными испытаний 15 сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов, отличающихся уровнем предварительного нагружения сборного элемента.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Валеев, Г.С. Развитие теоретических основ сопротивления сборно-монолитного железобетона [Текст] / Г.С. Валеев, Л.Ф. Сиразиев, И.И. Закиров // Материалы 30-й Всероссийской научно-технической конференции ПГАСА «Актуальные проблемы современного строительства»: Сборник статей.- Пенза, 1999, с.14-15.

2. Сиразиев, Л.Ф. Пространственная работа каркасно-панельного жилого здания [Текст] / Л.Ф. Сиразиев // Материалы 51-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов – Казань, 2000г., с.130-133.

3. Соколов, Б.С. Многоэтажное крупнопанельное здание [Текст] / Б.С. Соколов, Л.Ф. Сиразиев, М.В. Фурман, Б.И. Тихомиров // Свидетельство на полезную модель №15900. – Москва, 2000г.

4. Валеев, Г.С. Предварительное нагружение сборных элементов сборно-монолитных изгибаемых конструкций [Текст] / Г.С. Валеев, Л.Ф. Сиразиев, И.Н. Галлямов, А.Ф. Шарапов // Международная молодежная конференция «Молодежь – науке будущего»: Сборник статей. – Набережные Челны, 2000г., с.142-143.

5. Валеев, Г.С. Сборно-монолитные конструкции перекрытий в каркасно-панельных жилых зданиях [Текст] / Г.С. Валеев, Л.Ф. Сиразиев //

10 —
Материалы международной научно-практической конференции «Строительство–2000»: Сборник статей. - Ростов-на-Дону, 2000., с.51-52.

6. Мирсаяпов, И.Т. Расчет прогибов сборно-монолитных изгибаемых конструкций [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Л.Ф. Сиразиев //Всероссийская научная конференция студентов и аспирантов «Молодые исследователи – региону»: Сборник статей – ВГТУ, - Вологда, 2004 г., с.238-240.

7. Мирсаяпов, И.Т. Инженерный метод расчета трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Л.Ф. Сиразиев // Вестник отделения строительных наук РААСН, выпуск №11// Периодическое научное издание. – Курск, 2007 г., с. 125-128.

8. Мирсаяпов, И.Т. Трещиностойкость и деформативность сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Л.Ф. Сиразиев // «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений»: Тезисы докладов, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, 2007 г., с.100-102.

9. Мирсаяпов, И.Т. Инженерные методы расчета трещиностойкости и деформативности сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом предварительного нагружения сборного элемента [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Л.Ф. Сиразиев // «Промышленное и гражданское строительство»: Журнал, №9, Москва 2007г. – с.42-43.

Сиразиев Ленар Фиргатевиç
Трещиностойкость и деформативность сборно-монолитных изгибаемых конструкций с учетом влияния предварительного нагружения сборного элемента
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения
Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 30.10.2008.
Форм. 60x84 1/16. Печать ризографическая.
Бумага тип №1. Печ. л. 1,5 Тираж 100. Заказ 580

ПМО КГАСУ
420043, Казань, Зеленая, 1